



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**BUDOUCÍ TRENDY PRO POHONNÉ JEDNOTKY  
OSOBNÍCH VOZIDEL**

FUTURE TRENDS FOR PASSENGER CAR POWERTRAINS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

David Bureš

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Novotný, Ph.D.

BRNO 2017

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **David Bureš**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Novotný, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Budoucí trendy pro pohonné jednotky osobních vozidel**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Práce se zaměřuje na budoucí trendy pro pohonné jednotky osobních vozidel na období 2020 až 2040. Předpokládá se, že student získá přehled o potenciálních způsobech pohonu osobních vozidel. Součástí práce je zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých druhů pohonů z hlediska účinnosti, emisí a vibračního působení na posádku vozidel.

### **Cíle bakalářské práce:**

- 1) Rešerše existujících i potenciálních principů k pohonu osobních vozidel
- 2) Zhodnocení pravděpodobnosti využití daných variant pohonných jednotek
- 3) Zhodnocení výhod a nevýhod daných řešení z hlediska účinnosti, emisí a vibračního působení na posádku vozidel

### **Seznam doporučené literatury:**

HEISLER, Heinz. Advanced engine technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1995. ISBN 1-56091-734-2.

STONE, Richard. Introduction to internal combustion engines. 3. vyd. Warrendale, Pa.: Society of Automotive Engineers, 1999. ISBN 0768004950

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá existujícími a potenciálními principy pohonů osobních automobilů, zhodnocením jejich výhod a nevýhod z hlediska účinnosti, emisí a vibračního působení. Porovnává tyto způsoby pohonů s těmi, které jsou využívány v současné době. Predikuje pravděpodobnost využití daných variant v letech 2020 až 2040.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Alternativní paliva, spalovací motor, elektromobil, CNG, hybrid, ropa, emise

## ABSTRACT

This bachelor thesis analyses existing and potential future propulsion technologies in passenger cars. Propulsion technologies are evaluated based on their efficiency, emissions, and amount of vibration. They are then compared with propulsion technologies in current use. Probability of usage from 2020 to 2040 is predicted for each evaluated technology.

## KEYWORDS

Alternative fuels, combustion engine, electric car, CNG, hybrid, oil, emissions

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BUREŠ, D. *Budoucí trendy pro pohonné jednotky osobních vozidel*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Pavel Novotný.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením docenta Pavla Novotného a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23. května 2017

.....

David Bureš

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval doc. Ing. Pavlu Novotnému, Ph.D. za cenné rady a poznatky při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům, kteří mě podporovali ve studiu.

## OBSAH

Úvod .....	9
1 Historický vývoj pohonů .....	10
2 Dnešní situace .....	13
2.1 Emisní normy .....	13
2.2 Měřicí cykly .....	14
3 Přehled pohonů .....	16
3.1 Zážehový motor .....	16
3.1.1 Benzín .....	19
3.1.2 Ethanol .....	23
3.1.3 Plyná paliva .....	24
3.1.4 Zhodnocení použití .....	26
3.2 Vznětový motor .....	27
3.2.1 Zhodnocení použití .....	29
3.3 Elektromotor .....	29
3.3.1 Zhodnocení použití .....	33
3.4 Vodíkový pohon .....	33
3.4.1 Zhodnocení použití .....	34
3.5 Hybridní pohon .....	34
3.5.1 Zhodnocení použití .....	36
Závěr .....	37
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	44

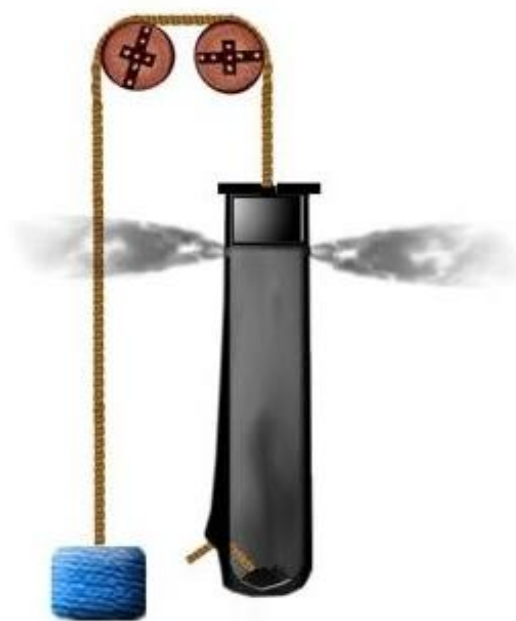


## ÚVOD

V současné době je drtivá většina osobních automobilů poháněna spalovacími motory. Ty při svém provozu produkují hluk a spaliny, které dlouhodobě zhoršují ovzduší především ve městech, kde žije vysoká koncentrace lidí. Kvůli tomu je na automobilky vyvíjen tlak, aby snižovaly emise svých automobilů. Nastavené limity jsou snižovány tak rychle, že je v budoucnu nepůjde pouze s motory spalujícími naftu či benzín dosáhnout, a proto se stále více přikládá význam pohonům na alternativní paliva. Ty by měly být ekologičtější, dostupnější a jejich provoz by měl být levnější. Neměly by být závislé na jedné surovině, jejich zdroj by měl být obnovitelný. Zároveň by měly být uživatelsky příjemné a nenáročné. Automobilky vynakládají velké finanční prostředky na vývoj a výzkum nových technologií a snaží se získat náskok nad konkurencí.

## 1 HISTORICKÝ VÝVOJ POHONŮ

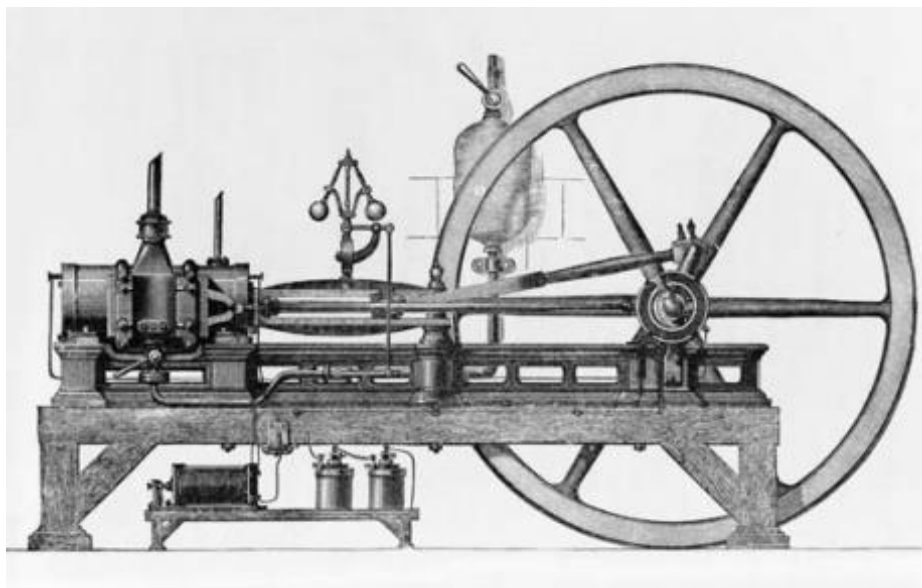
Za první spalovací motor se považuje motor na střelný prach, který v roce 1680 sestrojil holandský fyzik, matematik a vědec Christiaan Huygens. Tento motor používal velmi jednoduchý princip: píst byl umístěn v horní části spalovacího prostoru (válce) a pod něj byl umístěn střelný prach. Ten byl zapálen a exploze vytlačila vzduch ven ze spalovacího prostoru a tím vzniklo částečné vákuum. Píst se posunul směrem dolů a tím vykonal práci. Poté musel být ručně doplněn střelný prach, tudíž byl motor velmi neefektivní. [1] [2] [3]



*Obr. 1: Huygensův motor [4]*

V roce 1712 sestrojil Thomas Newcomen první efektivní atmosferický parní motor. Kotel vyráběl páru, která ve válci po vstříknutí studené vody kondenzovala, což vytvořilo částečné vákuum. Atmosferický tlak mimo válec zatlačil píst dolů a ten vykonal práci. Zahřívání a následné chlazení válce spotřebovalo velké množství energie, což mělo za následek malou účinnost motoru. James Watt zdokonalil motor tím, že pomocí šoupátka přivedl páru střídavě nad i pod píst (dvoučinný parní stroj), čímž získal dvojnásobný výkon ze stejného objemu válce. [4] [5] [6]

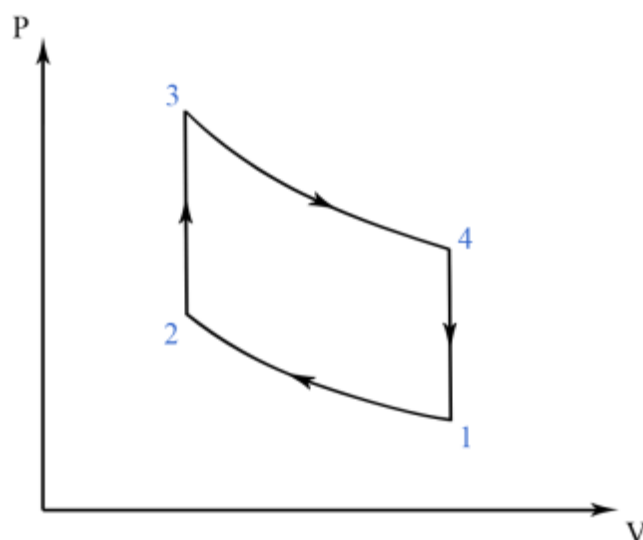
Jean Joseph Etienne Lenoir si nechal v roce 1859 patentovat motor na svítiplyn. Opět byla směs zapalována nad i pod pístem. Jeho účinnost byla pouhá 4 %, zbytek energie byla přeměněna na teplo, tudíž musel být chlazen vodou. O rok později začal stavět vozidlo s tímto motorem a v roce 1863 byla uskutečněna první jízda. [6] [7]



Obr. 2: Lenoirův motor [9]

Roku 1864 byla založena první firma na světě vyrábějící motory. Stáli za ní Nikolaus Otto a Eugen Langen. O tři roky později představili svůj první motor, který byl sice hlučnější a méně spolehlivý než konkurenční motory, ke svému provozu ale potřeboval jen třetinové množství plynu.

V roce 1876 byl sestaven čtyřtákní motor. Na jeho vývoji se podíleli také G. Daimler a W. Maybach. Oproti dřívějším motorům byla směs před zažehnutím stlačena. Na tomto principu fungují spalovací motory dodnes. Roku 1884 byl zdokonalen elektrickým zapalováním, čímž bylo umožněno spalování kapalných paliv. [6]



Obr. 3: Ottův cyklus [10]

O další zvýšení účinnosti spalovacích motorů se postaral Gottlieb Daimler. Té bylo dosaženo snížením hmotnosti motoru a zvýšení otáček až na 900 otáček za minutu. To bylo možné díky novému systému zapalování, řešeného vháněním čerstvé směsi do žhavicí trubičky, která byla zvenku zahřívána plamenem. Wilhelm Maybach se zasloužil o další zefektivnění spalovacích motorů vynálezem karburátoru. Palivo bylo mícháno se vzduchem za pomoci podtlaku v sání. [1] [6]

Za sestrojením dvoutaktního motoru v roce 1879 stojí Karl Benz. Dvoutaktní motory ovšem v automobilové dopravě nehrály zvláště důležitou roli, zejména kvůli vysoké spotřebě paliva a nižší účinnosti, než jaké dosahují motory čtyřtaktní. [7]

První vznětový motor byl navržen Akroydem Stuartem v roce 1890. Tento motor měl ale příliš malý kompresní poměr na to, aby se palivo samo vznítilo. To bylo vyřešeno nechlazenou komorou, která byla s válcem spojena krátkou úzkou pasáží, do které bylo vstřikováno palivo. Při studeném motoru byla tato komora zahřívána externě, po zahřátí již nebyl externí zdroj tepla potřeba.

Rudolf Diesel byl první, komu se podařilo sestrojít vznětový motor, jak jej známe dnes. Motor z roku 1893 byl poháněn uhelným prachem, který byl později nahrazen čištěným petrolejem, který vykazoval lepší vlastnosti. Tento motor měl oproti Ottovu asi dvakrát větší účinnost. Další významnou inovací vznětového motoru bylo hydraulické vstřikování paliva. Jako první si jej nechal v roce 1910 patentovat James McKechnie. Do sériové výroby je dovedl roku 1927 Robert Bosch, což přispělo k rozšíření těchto motorů. [1] [6]

## 2 DNEŠNÍ SITUACE

V současné době je nejvíce osobních automobilů poháněno motory spalujícími benzín a naftu, tedy zážehovými a vznětovými motory.

Jelikož jsou neustále zpřísňovány ekologické limity nejen pro osobní automobily, jsou jejich výrobci nuceni vyvíjet nové alternativní způsoby pohonu. Nemalý vliv na tento proces má i fakt, že ropa, ze které se tato paliva vyrábí, je neobnovitelný zdroj energie. Její zásoby jsou často diskutovaným tématem, ovšem určit její množství je velmi těžké – jednak proto, že se neustále daří nacházet nová naleziště, a také proto, že těžba ropy je velmi výnosný byznys, a proto si těžařské firmy veškeré informace pečlivě střeží. V minulosti bylo vyčerpání zásob několikrát předpovězeno. Nyní se odhady různí, většinou mezi 40 až 70 lety. [8]

### 2.1 EMISNÍ NORMY

Nyní v Evropské unii platí emisní norma EURO 6, která přesně stanovuje maximální povolené hodnoty škodlivých látek, které může automobil produkovat. Tato norma platí pouze pro nově vyvinuté automobily. Nově vyvinutý automobil je měřen v testovacím cyklu. Pokud nesplní limity EURO normy, nedostane homologaci a nesmí se na území Evropské unie prodávat. [9]

*Tabulka 1: Vývoj Evropských emisních norem pro benzinové motory osobních automobilů, CO – oxid uhelnatý, NO<sub>x</sub> – oxidy dusíku, HC – uhlovodíky [9]*

Norma	Rok	CO [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	HC [g/km]	HC + NO <sub>x</sub> [g/km]
EURO 1	1992	3,16	-	-	1,13
EURO 2	1996	2,20	-	-	0,50
EURO 3	2000	2,30	0,15	0,20	-
EURO 4	2005	1,00	0,08	0,10	-
EURO 5	2009	1,00	0,06	0,10	-
EURO 6	2014	1,00	0,06	0,10	-

*Tabulka 2: Vývoj Evropských emisních norem pro naftové motory osobních automobilů, CO – oxid uhelnatý, NO<sub>x</sub> – oxidy dusíku, HC – uhlovodíky, PČ – pevné částice [9]*

Norma	Rok	CO [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	HC + NO <sub>x</sub> [g/km]	PČ [g/km]
EURO 1	1992	3,16	-	1,13	0,18
EURO 2	1996	1	-	0,7	0,08
EURO 3	2000	0,64	0,5	0,56	0,05
EURO 4	2005	0,5	0,25	0,3	0,025
EURO 5	2009	0,5	0,18	0,23	0,005
EURO 6	2014	0,5	0,08	0,17	0,005

## 2.2 MĚŘÍCÍ CYKLY

V roce 1971 byl zaveden první předpis pro měření emisí osobních automobilů. Nyní jsou v Evropské Unii pro měření emisí automobilů používány testy NEDC (New European Driving Cycle). Tento cyklus se skládá ze 7 zkoušek, které simulují jízdu automobilu v provozu. Při tomto testu najede automobil 11 023 m během 1 180 s, průměrná rychlost činí 33,6 km/h.

**Zkouška typu I** se zaměřuje na produkci emisí automobilu po studeném startu a dělí se na městskou a mimoměstskou část.

**Zkouška typu II** se zaměřuje na měření emisí CO a CO<sub>2</sub> při volnoběhu zahřátého motoru.

**Zkouška typu III** měří tlak v klikové skříní motoru, který musí být nižší než atmosferický.

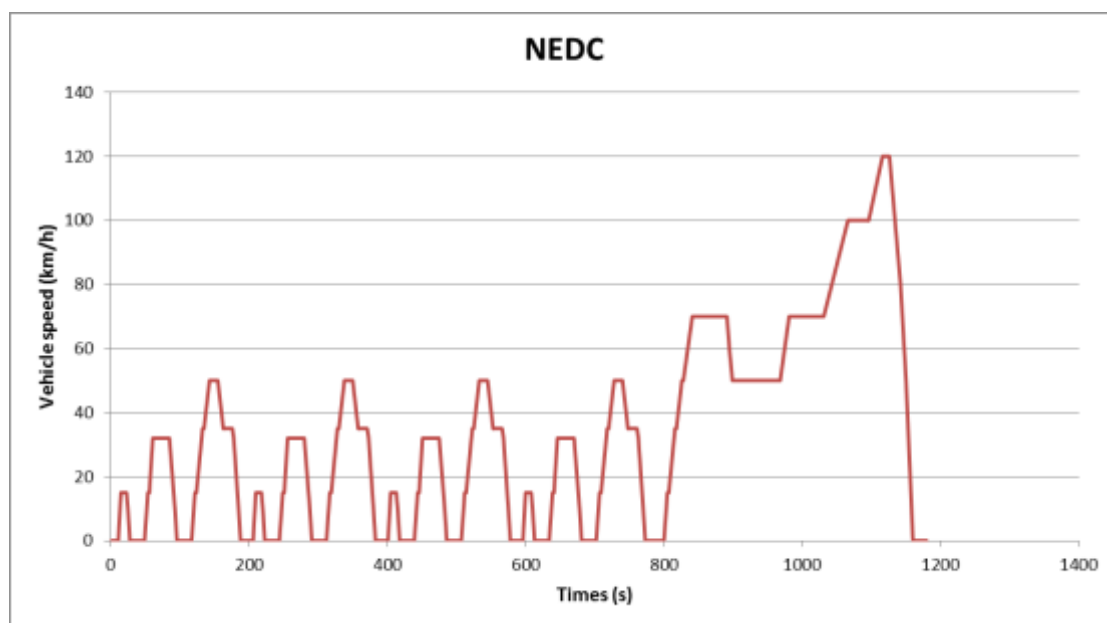
**Zkouška typu IV** kontroluje množství vypařených HC během 24 hodin v uzavřeném prostoru. Vozidlo je zahřáté a má najeto minimálně 3 000 km.

**Zkouška typu V** měří emise vozidla po ujetí 80 000 km.

**Zkouška typu IV** měří emise CO a HC po studeném startu a za nízké venkovní teploty.

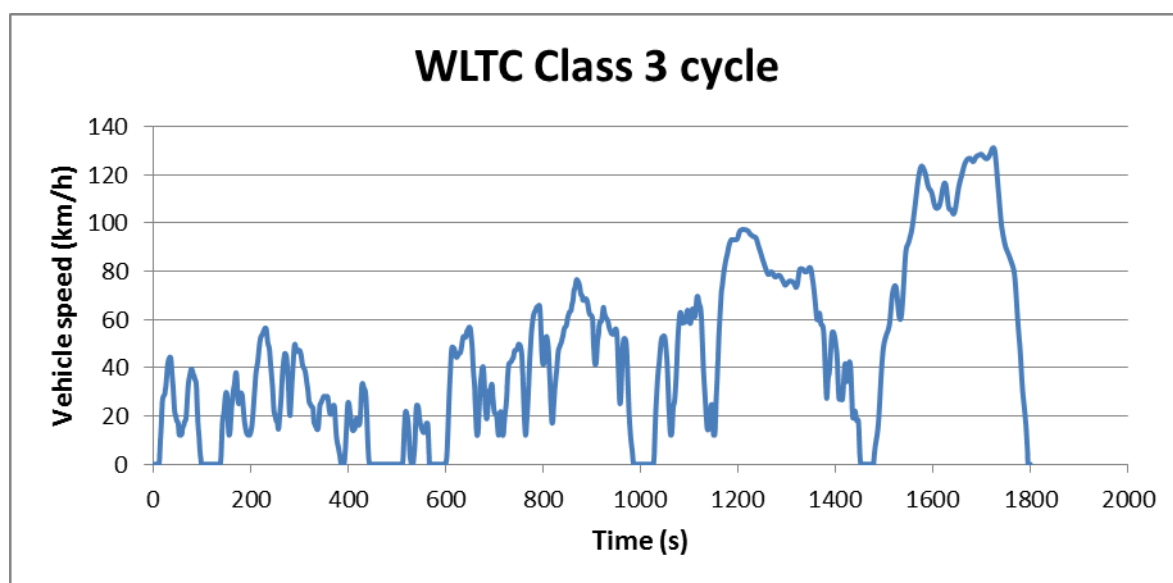
**Zkouška OBD** ověřuje, zda vozidlo splňuje emisní limity i v případě, že řídicí jednotka automobilu nefunguje správně.

Tato metodika je ale velmi nepřesná a neodráží realitu. Testování v reálném provozu ukázala, že emise jsou několikrát vyšší než při testování. Dalším úskalím tohoto testování je jeho relativně snadné obcházení. [9] [10] [11]



Obr. 4: Cyklus NEDC [12]

Z výše uvedených důvodů budou testy NEDC v roce 2017 nahrazeny testy WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Cycle), které budou měřit spotřebu a emise CO<sub>2</sub> a RDE (Real Driving Emissions), které budou měřit ostatní škodliviny. Cyklus WLTC dělí osobní automobily do čtyř kategorií v závislosti na výkonu a hmotnosti. Drtivá většina automobilů bude spadat do kategorie 3b, která se vyznačuje poměrem výkonu ku hmotnosti větším než 34 W/kg a maximální rychlostí přesahující 120 km/h. Tyto testy mají přinést reálnější výsledky. Automobil bude testován i v reálném provozu a nejen ve zkušebně na válci, akcelerační, decelerační, zatížení, teploty a rychlosti se budou více podobat skutečné jízdě. Bude tedy těžší dosáhnout stejných výsledků emisí než při metodice NEDC. [10] [11] [13]



Obr. 5: Cyklus WLTC pro kategorií 3b [14]

Tabulka 3: Porovnání jízdních cyklů [13]

Jízdní cyklus	WLTC 3b	NEDC
Volnoběh [%]	13	27
Ustálená rychlost [%]	4	38
Zrychlení [%]	44	20
Zpomalení [%]	40	14
Průměrná rychlost [km/h]	46	34
Počet fází	4	2

## 3 PŘEHLED POHONŮ

### 3.1 ZÁŽEHOVÝ MOTOR

Zážehové motory můžeme rozdělit podle následujících základních kritérií:

Počet taktů:

Motor dvoutaktní má pouze dva takty – sání a kompresi, expanzi a výfuk. Během prvního taktu se píst pohybuje směrem vzhůru. Nad pístem se stlačuje směs a pod píst se do klikové skříně díky podtlaku nasává čerstvá směs. Před horní úvratí je směs zažehnuta a píst se pohybuje dolů, vykonává práci. Směs z klikové skříně se přepouštěcím kanálem dostává nad píst a spálená směs odchází do výfuku. S ní odchází i část čerstvé směsi, která se díky podtlaku ve výfuku vrací zpět do válce. Proto je u dvoudobého motoru velmi důležité správné naladění výfuku. Oproti motoru čtyřtaktnímu má vyšší objemový výkon, ale také spotřebu, emise a hlučnost. Životnost tohoto motoru je výrazně nižší.

Cyklus čtyřtaktního motoru se skládá se sání, komprese, expanze a výfuku. Při sání jsou otevřeny sací ventily, píst se pohybuje dolů a podtlakem (u atmosferických motorů) či tlakem turbodmychadla je vzduch přiváděn do válce. Při kompresi se píst ve válci pohybuje nahoru, vzduch je stlačován. Před horní úvratí je do válce vstříknuto palivo a směs je zažehnuta. Následuje expanze směsi, která tlačí píst dolů a tím koná práci. V posledním taktu se píst opět pohybuje nahoru, výfukové ventily jsou otevřeny a spálená směs opouští válec. Téměř všechny současné automobilové motory jsou čtyřtaktní.

Dle způsobu přípravy směsi:

Motory s karburátorem, kde je palivo z karburátoru nasáváno pomocí podtlaku v sání a následně je do válce přiváděna již hotová směs.

Motory se vstřikováním, kde je palivo vstřikováno buď do sání (nepřímé) anebo přímo do spalovacího prostoru (přímé). To je v dnešní době nejpoužívanější způsob přípravy směsi.

Dle způsobu zapálení směsi:

Zážehové motory, kde se směs zapalována externě, nejčastěji elektrickou jiskrou.

Vznětové motory, kde se směs sama vznítí díky tlaku ve válci.

Podle dopravy vzduchu do válce:

Atmosferické motory, do kterých je vzduch nasáván podtlakem skrze sací potrubí a vzduchový filtr.

Přeplňované motory, kde je vzduch do válce tlačěn turbodmychadlem nebo elektrickým kompresorem, případně jejich kombinací.

Podle přenosu síly:

Motory s přímým přenosem mají klasickou koncepci, kde jsou síly přenášeny skrze pístní soustavou na klikový hřídel.



Motory bez klikového mechanismu – jedná se například o Wanklův nebo Stirlingův motor.

Podle počtu válců:

Jednoválcové motory se v osobních automobilech nepoužívají. Objem válce by byl příliš velký, stejně jako rotující hmota. Tento motor je velmi nevyvážený, produkuje hodně vibrací a má špatnou reakci na plyn.

Řadové motory jsou nejrozšířenější typ uspořádání válců v motorech. To je dáno jejich relativně jednoduchou a levnou konstrukcí. V současné době se používají řadové tří až šestiválce.

Motory do V mají dvě řady válců posunuté o určitý úhel (většinou 60 nebo 90 stupňů) ukotvené k jedné klikové hřídeli. Používají se pro šesti a víceválcové motory, kde by byl řadový motor příliš rozměrný. Motor do V je kompaktnější, je ovšem náročnější a dražší na výrobu.

Boxery jsou vlastně motory do V s úhlem 180 stupňů – válce leží proti sobě. Jejich výhodou je velmi nízké těžiště, z čehož plynou dobré jízdní vlastnosti automobilu. Naopak nevýhoda jsou jeho rozměry.

Ostatní, například motor s protiběžnými písty, VR, W či hvězdicové motory.

Podle rozvodového mechanismu na ventilové, šoupátkové, s kanálovém rozvodem a bezrozvodové. [6]

V současné době dosahují zážehové motory asi 25-35 % účinnosti. Výrobci se neustále snaží o zefektivnění motorů, které vede ke snížení spotřeby paliva a emisí, snížení vibračního a hlukového působení na posádku.

### **Způsoby snižování emisí:**

#### **Downsizing**

Jedním ze způsobů snížení spotřeby paliva a emisí je snižování objemu motorů (takzvaný downsizing). Základní myšlenka downsizingu je zmenšení objemu motoru při zachování stejného výkonu. To může být docíleno například přeplňováním, kdy je do menšího motoru přivedeno stejné množství směsi, jako do motoru většího. Motor může být přeplňován turbodmychadlem, elektrickým kompresorem nebo jejich kombinací. Menší motor má několik výhod, například menší hmotnost, menší rozměry, menší setrvačné síly a odpory. To má za následek nižší spotřebu a emise, menší rozměry motorového prostoru nebo úsporu materiálu při výrobě motoru. [15]



*Obr.6: Motor 1.0 TSI [16]*

Jak se ale v praxi ukázalo, tyto výhody jsou výrazné při testovacích cyklech, které neodpovídají realitě. V reálném provozu tyto maloobjemové motory, často osazené ve velkých a těžkých automobilech, nejsou schopné dosazovat stejných výsledků, jako motory s větším objemem a při vysoké zátěži, ve které často pracují, vykazují větší spotřebu a emise než motory s větším objemem.

#### System start-stop

Dalším způsobem, které automobilky používají ke snížení emisí a spotřeby, je systém start-stop. Tento systém vypne motor, pokud se auto zastaví a po sešlápnutí plynového nebo spojkového pedálu jej nastartuje. Toto je nejčastěji využíváno v městském provozu nebo v dopravních zácpách. Jelikož v testech emisí jsou úseky, kdy vozidlo stojí, vykazuje tím nulovou spotřebu a emise. Ve skutečném provozu tento systém motoru však spíše škodí. Neustálé starty opotřebovávají motor i startér a snižují komfort posádky automobilu.

#### Vypínání válců

Další technologií úspory paliva je systém vypínání válců. Při nízké zátěži, kdy motor nepotřebuje plný výkon, který je schopen produkovat, je uzavřen přívod paliva do jednoho nebo více válců a tím je zmenšen objem spálené směsi a paliva.

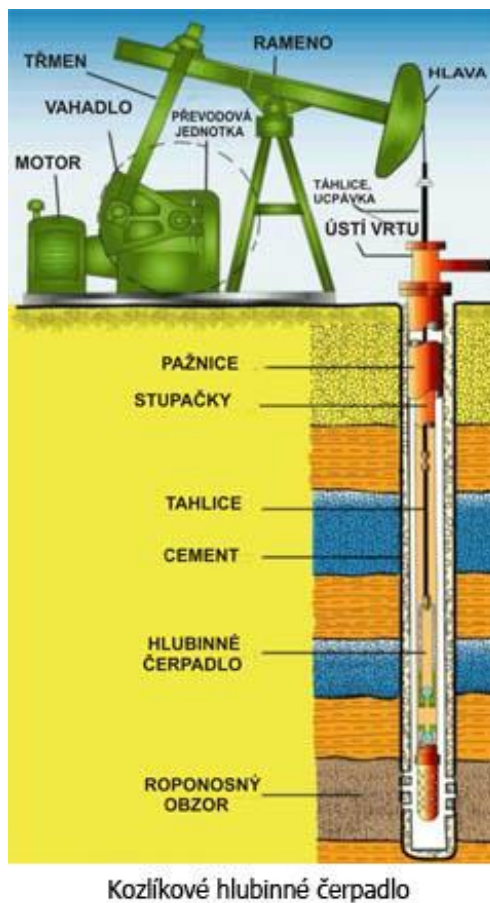
Nezanedbatelným faktorem je vibrační a akustické působení motorů. Vibrační působení můžeme rozdělit na primární a sekundární. Primární je způsobeno posuvným pohybem pístu a ojnice, sekundární je způsobeno rotací setrvačných hmot. Dále můžeme vibrační působení dělit na vnitřní a vnější. Vnitřní působí pouze uvnitř motoru, kde jsou namáhány jednotlivé komponenty, ale navenek se neprojevují, a vnější, které působí skrze uchycení motoru na karoserii a posádku. Z tohoto pohledu je nejvýhodnější řadový šestiválcový motor s pootočením klik o 120 stupňů, jelikož se v něm vyruší jak primární, tak sekundární vibrace. V ostatních běžně používaných motorech (řadový tří a čtyřválec, vidlicový šesti a osmiválec či boxer) musí být síly a momenty vyvažovány. K tomu se používají protizávaží umístěná na klikové hřídeli či vyvažovací hřídele. Vyvážení motorů a odhlučnění motorového prostoru dnešních automobilů je však na takové úrovni, že posádka téměř není zatěžována ani hlukem, ani vibracemi pohonné jednotky. [6] [17]

### 3.1.1 BENZÍN

Benzín je v současné době nejrozšířenější palivo pohonných jednotek osobních automobilů, avšak kvůli tlaku ekologů a vlád jsou automobilky nuceny hledat ekologičtější alternativy. Dokud však tyto alternativní paliva nebudou konkurenceschopné v rámci dojezdu, doplňování energie či infrastruktury, bude jeho pozice na trhu stále dominantní.

Benzín je kapalné fosilní palivo vyráběné z ropy. Hmotnostní složení ropy je následovné: 84–87 % uhlík, 11–14 % vodík, 0.1–4 % síra, 0.01–1 % dusík, 0.05–1 % kyslík. Dále ropa obsahuje organicky vázané kovy, například vanad nebo nikl. Její přesné složení včetně příměsí se liší podle lokality, ve které byla vytěžena. Hustota ropy se pohybuje v rozmezí 730–1000 kg·m<sup>-3</sup>.

Ropa je získávána z hlubinných vrtů. Primární způsob těžby znamená, že ropa samovolně vytéká na povrch díky tlaku zemního plynu nebo je čerpána jednoduchými čerpadly. Tímto způsobem těžby lze získat kolem 20 % ropy v nalezišti. Poté následuje sekundární způsob těžby. V této fázi se ropa z ložiska těží pomocí hlubinných čerpadel či udržování podzemního tlaku vstřikováním vody. Těmito metodami lze vytěžit 5–15 % ropy. Terciálními metodami lze získat dalších 5–15 % ropy v ložisku. Jsou však podstatně nákladnější a záleží tedy, jestli se takto ropa vyplatí těžit. Tyto metody zahrnují vhánění plynu do ložiska, snižování viskozity ropy pomocí horké páry nebo zapálení části vrtu. Celková vytěžitelnost ložiska se pohybuje kolem 50 %, poté je těžba ekonomicky nevýhodná. [18] [19] [20]



Obr.7 : Kozlíkové hlubinné čerpadlo [21]

Benzín je těkavý a hořlavý. Jeden litr benzínu obsahuje asi 31,8 MJ energie. Jednou z jeho nejdůležitějších vlastností je oktanové číslo. Čím je vyšší, tím je benzín odolnější vůči detonačnímu hoření. Při detonačním hoření dochází k samovznícení směsi a následnému šíření plamene a tlakového rázu rychlostí až 2 300 m/s, což je daleko více, než žádaných 1 000 m/s při zažehnutí směsi svíčkou. Detonační hoření vyvolává rázy v motoru, což se negativně projevuje na jeho životnosti. Dále se motor může přehřívat a ztrácet výkon, proto je detonační hoření nepřipustné. Dříve bylo oktanové číslo zvyšováno přidáváním olovnatých aditiv, což bylo v roce 1996 zakázáno. Nyní se oktanové číslo zvyšuje aditivami uhlovodíků éterického původu. V současné době je nejpoužívanější benzín s oktanovým číslem 95, dále 98 a 100. V motorsportu se používá benzín s oktanovým číslem až 130. [1] [6] [22]

### Ekologie

Největší část znečištění zážehovými motory spalujícími benzín je způsobeno vypouštěním výfukových plynů do ovzduší. Tyto plyny mají následné složení: 71 %  $N_2$  – dusík, 14 %  $CO_2$  – oxid uhličitý, 13 %  $H_2O$  – vodní páry, 2 %  $PČ$ ,  $HC$ ,  $NO_x$ ,  $CO$  – oxid uhelnatý, oxidy dusíku, uhlovodíky, pevné částice. [23]

Dusík je lidskému organismu neškodný plyn, který je ze 78 % obsažen v atmosféře. Oxid uhličitý je pro lidský organismus škodlivý až ve velmi vysoké koncentraci. Jeho největším problémem je podpora skleníkového efektu a následné oteplování Země. Vodní páry jsou taktéž obsaženy v atmosféře a jsou pro člověka neškodné. Oxid uhelnatý je pro člověka

jedovatý, jelikož vytěsňuje kyslík z hemoglobinu a může způsobit udušení. Oxidy dusíku vznikají za vysokých teplot a tlaků při nadbytku kyslíku, což je směr, kterým se ubírají trendy moderních spalovacích motorů. Spalování při vyšších teplotách a tlacích s nadbytkem kyslíku snižuje spotřebu, ale zvyšuje vznik  $\text{NO}_x$ . Tyto oxidy mohou být pro člověka škodlivé, vyvolávají pocit dušení a podílejí se na tvorbě smogu a kyselých dešťů, jsou tedy nežádoucí. Nespálené uhlovodíky jsou taktéž velmi nebezpečné, jelikož jsou pro člověka jedovaté, rakovinotvorné a poškozují dýchací cesty. Do organismu se dostávají především na povrchu pevných částic. Ty jsou často spojovány se vznětovými motory, ale tvoří se i v motorech zážehových. Skládají se především z uhlíku. Tyto částice dráždí a zanáší dýchací systém člověka a váží na sebe karcinogenní, jedovaté a mutagenní látky. Ty nejmenší částice se mohou dostat až do plic nebo do krve. [6]

Ačkoli je tedy většina objemu výfukových plynů lidskému organismu neškodná, je nutné vypouštěné škodliviny co nejvíce omezit, protože mohou mít vážné zdravotní důsledky, a to především při dlouhodobém kontaktu a vysoké koncentraci, která se vyskytuje ve městech.

Složení výfukových plynů je ovlivněno poměrem vzduchu a paliva ( $\lambda$ ). Změnou tohoto poměru nelze vzniku škodlivin zamezit, lze jej ale minimalizovat. Ideální poměr je  $\lambda = 1$ , takzvaná stechiometrická směs, která obsahuje 14,7 kg vzduchu a 1 kg paliva. Při mírně chudé směsi, kdy se dosahuje nejvyšších spalovacích teplot, vzniká nejvíce emisí  $\text{NO}_x$ . Snížením teploty omezíme jejich vznik, nicméně snížíme i účinnost motoru. Emise CO mohou být sníženy použitím chudší směsi, kdy motor pracuje s přebytkem kyslíku. Nejméně emisí HC vzniká při spalování směsi s  $\lambda$  kolem hodnoty 1,1. Příliš chudá nebo bohatá směs způsobí zvýšení produkce emisí HC. Z toho vyplývá, že jen změnou poměru vzduchu a paliva nelze vznik škodlivin úplně eliminovat. Emise  $\text{NO}_x$  a HC klesají s kompresním poměrem. To ale znamená snížení účinnosti motoru a zvýšení spotřeby, což je velmi nežádoucí. Dále na produkci emisí HC má vliv i tvar spalovacího prostoru, nejvýhodnější je zvolit prostor s co nejmenším poměrem povrchu k objemu. [6] [23]

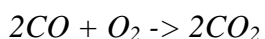
Dalším možným způsobem snížení emisí  $\text{NO}_x$  a HC je zmenšení úhlu předstihu, což sníží teplotu spalování a tím i emise. To má ale negativní efekt na výkon a moment motoru. Emise lze snížit i recirkulací výfukových plynů. Recirkulace může být vnější a vnitřní. Vnitřní recirkulace znamená, že při sání čerstvé směsi do motoru zůstane výfukový ventil déle otevřen a podtlakem se nasaje část výfukových spalín zpět do válce. Při vnější recirkulaci je část výfukových plynů přiváděna do sání pomocí EGR ventilu. Ten je otevírán elektronicky, nebo podtlakem v sání. [6] [23]

Velmi důležitým způsobem redukce emisí je použití katalyzátoru ve výfukovém potrubí. Spaliny se v něm mění na neškodné látky běžně se vyskytující ve vzduchu. Ke své činnosti musí být katalyzátor zahřátý na provozní teplotu, která činí asi 250-800 °C. Proto může být blíže motoru umístěn další, menší katalyzátor, který se rychleji zahřeje na svou provozní teplotu a čistí výfukové plyny, než se prohřeje větší katalyzátor umístěný dále ve výfukovém potrubí. Další možností urychlení zahřívání katalyzátoru na jeho provozní teplotu může být jeho externí zahřívání. Správně fungující katalyzátor je schopen vyčistit až 97 % HC, 96 % CO a 90 %  $\text{NO}_x$ , proto je jeho správná funkčnost velmi důležitá. Pro jeho správnou funkci se musí poměr paliva a vzduchu směsi  $\lambda$  co nejvíce blížit hodnotě jedna. Pak mohou probíhat oba druhy reakcí – oxidace i redukce. Tyto reakce jsou urychlovány tenkou vrstvou cenných kovů v katalyzátoru, nejčastěji platinou nebo rhodiem. [24]

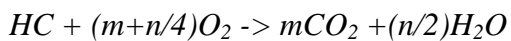


Obr.8 : Katalyzátor [25]

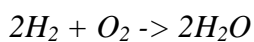
Oxidace:



Oxid uhelnatý s kyslíkem oxiduje na oxid uhličitý

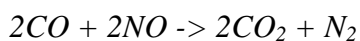


Uhlovodíky s kyslíkem oxidují na oxid uhličitý a vodní páru

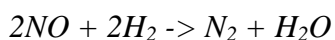


Vodík a kyslík oxidují na vodní páru

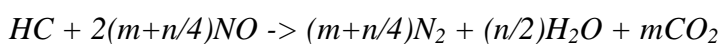
Redukce:



Oxid dusnatý a oxid uhelnatý redukuje na dusík a oxid uhličitý



Oxid dusnatý a vodík redukuje na dusík a vodní páru



Uhlovodíky a oxid dusnatý redukuje na vodní páru a oxid uhličitý

[6]

Filtr pevných částic je ve výfukovém potrubí umístěn za katalyzátorem. Slouží k zachycení pevných částic, které jsou produkovány spalováním směsi. Tyto filtry jsou spojovány se vznětovými motory, ovšem několik velkých automobilek, jako je koncern Volkswagen nebo Mercedes ohlásilo použití těchto filtrů i u zážehových motorů. Problematice filtrů pevných částic se budu věnovat v kapitole o vznětových motorech. [1] [6]

### 3.1.2 ETHANOL

E85 je přímou alternativou pro benzín. Je to směs 85 % ethanolu a 15 % benzínu. Poměr složek je měněn v závislosti na ročním období. V zimě je benzín zastoupen až 30 %. To je dáno tím, že bod vzplanutí E85 je o 15 °C vyšší než u benzínu, a motor by mohl mít problém se studenými starty. Většina moderních zážehových motorů je schopna po mírné úpravě na E85 jezdit. Některé velké automobilky nabízí některé ze svých modelů již z výroby připravených k provozu na E85, benzín nebo jejich kombinaci – tyto modely mají označení FFV (Flexible Fuel Vehicle) či MultiFuel. Další možností je dodatečná úprava motoru specializovanou firmou. Tato úprava spočívá ve zvýšení dávky paliva v závislosti na poměru složek paliva a úprava předstihu zážehu. Rovněž je vhodné vyměnit ventily, jelikož při spalování E85 jsou více namáhány. [6] [26] [27]

Ethanol je vyráběn z rostlin s vysokým obsahem škrobu či jiných sacharidů. Jedná se tedy o obnovitelný zdroj energie. V závislosti na produkci státu to mohou být obiloviny, kukuřice, brambory, cukrová třtina, rýžová sláma nebo melasa. Kvašením vzniká roztok ethanolu, který ovšem obsahuje velké množství příměsí. Tento roztok je čištěn opětovnou destilací. Takto lze získat roztok ethanolu (96 %) a vody (4 %). Teoreticky lze vyrobit téměř stoprocentní ethanol, ale tento proces je energeticky i ekonomicky náročný a nevýhodný. Ethanol má oproti benzínu vyšší oktanové číslo – 107. To znamená, že má lepší antidetonační vlastnosti. Díky tomu může motor spalující E85 pracovat s vyšším kompresním poměrem, než při spalování benzínu a je schopen produkovat vyšší výkon. Proto je E85 oblíbeným závodním palivem. Litř ethanolu obsahuje asi o třetinu méně energie než litř benzínu, tudíž se motor spalující ethanol vyznačuje vyšší spotřebou paliva. E85 na sebe váže vodu, která se následně odpařuje při spalování v motoru. To v kombinaci s nižší výhřevností oproti benzínu znamená nižší teplotu spalování, efektivnější plnění válců, menší tepelné namáhání všech komponent a vyšší životnost motoru. [27] [28] [29]

Výhody provozu na E85 jsou tedy vyšší oktanové číslo paliva oproti benzínu a tím vyšší možný výkon motoru, nižší produkce škodlivin, nízká cena paliva a relativně jednoduchá přestavba ze zážehového motoru. Navíc lze E85 spalovat v téměř jakémkoli poměru s benzínem. V Brazílii je například schopno na E85 jezdit 90 % nově prodaných osobních automobilů a 68 % osobních automobilů, které se již pohybují po silnicích. To je ale dáno specifickým místním trhem – Brazílie je druhým největším producentem ethanolu na světě díky obrovským plantážím cukrové třtiny. [30]

Mezi nevýhody patří nižší výhřevnost oproti benzínu a tím vyšší spotřeba paliva, vysoká produkce CO<sub>2</sub> při pěstování plodin, ze kterých se ethanol vyrábí a zabírání obrovského množství zemědělských ploch. Počet čerpacích stanic disponující palivem E85 je relativně nízký.

## Ekologie

Při spalování E85 vzniká oproti spalování benzínu menší množství CO, HC i NO<sub>x</sub>. Emise CO<sub>2</sub> jsou nižší dokonce o 70 %. Musíme si ale uvědomit, že při pěstování plodin, ze kterých se ethanol vyrábí, vzniká nezanedbatelné množství CO<sub>2</sub>, tudíž přímý efekt není tak vysoký. Dále je oproti spalování benzínu zvýšena spotřeba paliva. V závislosti na používání motoru jde o 10–40 %. [31]

Největší problém s použitím ethanolu jako paliva je zabírání zemědělské půdy pro pěstování potravin. To je vzhledem k hladomoru v některých částech světa přinejmenším neetické.

měrné emise	městská část cyklu	mimoměstská část cyklu	kombinovaný provoz
Spotřeba paliva E85 [g·km <sup>-1</sup> ]	92,25	52,62	67,20
Spotřeba paliva natural 95 [g·km <sup>-1</sup> ]	63,56	35,62	45,90
CO <sub>2</sub> na palivo E85 [g·km <sup>-1</sup> ]	218,6	122,8	158,05
CO <sub>2</sub> na palivo natural 95 [g·km <sup>-1</sup> ]	225,5	126,7	163,06
CO na palivo E85 [g·km <sup>-1</sup> ]	0,27	0,26	0,26
CO na palivo natural 95 [g·km <sup>-1</sup> ]	0,43	0,33	0,37
HC na palivo E85 [mg·km <sup>-1</sup> ]	2,59	1,49	1,89
HC na palivo natural [mg·km <sup>-1</sup> ]	3,2	1,86	2,35
NO <sub>x</sub> na palivo E85 [mg·km <sup>-1</sup> ]	17,25	17,42	17,36
NO <sub>x</sub> na palivo natural [mg·km <sup>-1</sup> ]	24,39	25,46	25,07

Obr. 9: Porovnání produkce emisí a spotřeby motoru 1.3MPI při spalování benzínu a E85 [31]

### 3.1.3 PLYNNÁ PALIVA

Plynná paliva můžeme dělit na ropné (LPG) a zemní (CNG a LNG) plyny. Oproti kapalným palivům se snadněji promíchávají se vzduchem, nedegradují olejovou náplň motoru, nezakarbonizovávají motor a mají vyšší oktanové číslo. [32]

#### LPG

LPG (zkapalněný ropný plyn) lze získat dvěma způsoby: při těžbě ropy a při zpracovávání ropy v rafineriích. Skládá se z propanu a butanu a je snadno zkapalnitelný. Při zkapalnění výrazně mění objem, a to v poměru 250:1. LPG má vysoké antidektonační vlastnosti, jeho oktanové číslo se pohybuje kolem 110 a výhřevnost je asi 46 MJ/kg. LPG je těžší než vzduch. Výhody provozu na LPG jsou vyšší dojezd vozidla díky dvěma nádržím na benzín a na LPG, nižší cena paliva a vyšší životnost motoru. Oproti motorům spalujícím benzín má nižší emise CO a HC.

Nevýhody jsou vysoké počáteční náklady na přestavbu automobilu, nutnost pravidelných kontrol palivového systému (jednou ročně nebo po 100 000 km), vyšší spotřeba paliva dána nižší výhřevností oproti benzínu, zmenšení zavazadlového prostoru automobilu kvůli umístění



tlakové nádrže, nemožnost parkovat ve většině podzemních garáží a omezená síť čerpacích stanic. [6] [32] [33]

### LNG a CNG

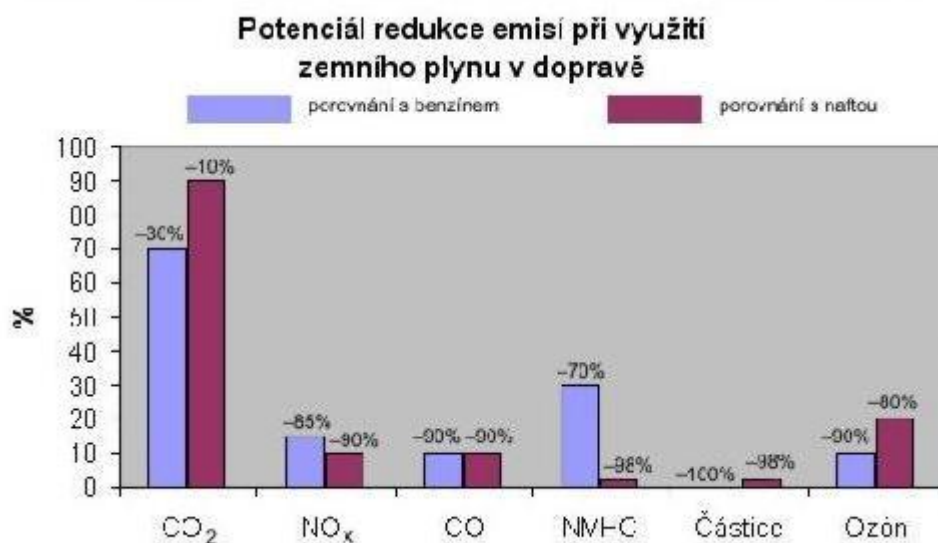
Zemní plyn je těžen podobně jako ropa. Skládá se přibližně ze 85 % methanu, 10 % dusíku a oxidu uhličitého a 5 % uhlovodíků. Při stlačení (CNG) zmenší svůj objem přibližně v poměru 200:1, při zkapalnění (LNG) až 600:1. Podobně jako LPG má zemní plyn výborné antidetonační vlastnosti, jeho oktanové číslo se v závislosti na složení pohybuje mezi 110 a 130. Výhřevnost zemního plynu je  $34 \text{ MJ/m}^3$ . V současné době je převážná většina vozidel na zemní plyn poháněna jeho stlačenou formou, kapalná se téměř nepoužívá. Při spalování CNG vzniká výrazně menší množství škodlivin, než při spalování benzínu či nafty.

Výhody pohonu na CNG jsou vyšší dojezd vozidla díky dvěma nádržím, levnější provoz, nižší hluchnost a vibrace motoru. Vozidla na CNG mohou parkovat v podzemních garážích, jelikož je lehčí než vzduch, a tedy snadno odvětratelný.



*Obr. 11: Umístění nádrží na CNG [34]*

Naopak mezi nevýhody patří zmenšený zavazadlový prostor, velmi malá síť čerpacích stanic disponujících CNG (momentálně se jich v ČR nachází 147), nutnost časté výměny zapalovacích svíček, nutnost revizí palivového systému, vyšší pořizovací náklady a nižší výkon motoru. Tuto nevýhodu lze kompenzovat vyšším kompresním poměrem. [6] [32] [35] [36]



Obr. 12: Potenciál redukce emisí při využití zemního plynu v dopravě [37]

### 3.1.4 ZHODNOCENÍ POUŽITÍ

Zážehový motor je nejstarší technologií pohonu osobních automobilů. Její vývoj trval nejdéle a oproti novým alternativám je daleko lépe prozkoumána. Její nevýhodou je ovšem omezená účinnost, produkce emisí, hluku a vibrací, omezené zásoby ropy a její umístění v politicky nestálých oblastech a její „neoblíbenost“ mezi politiky a ochránci životního prostředí.

Koncept snižování emisí, který výrobci preferují, je ovšem velmi nevhodný. Automobilky zavádí technologie, které sniží produkci emisí či spotřebu paliva mnohdy jen v uměle vytvořeném a nereálném testu. Na druhou stranu tyto technologie snižují životnost motoru. Takový automobil bude jezdit podstatně kratší dobu a produkce emisí spojená s jeho zpracováním a výrobou nového automobilu dalece přesáhne úsporu. Automobilky ovšem fungují proto, aby vydělávaly peníze a výroba automobilu, který bude jezdit dlouho, je pro ně ekonomicky nevýhodná. I přesto si myslím, že zážehové motory budou velmi podstatným způsobem pohonu osobních automobilů, i když jejich postavení na trhu nebude tak dominantní, jako je dnes.

Benzín je v současné době nejvyužívanějším palivem pro pohon osobních automobilů. Jeho vliv bude na úkor alternativních pohonů postupně slábnout, ovšem zůstane nezanedbatelný. Masové rozšíření E85 jako paliva velmi nepravděpodobné, jelikož pěstování plodin pro výrobu ethanolu zabere obrovské plochy pro pěstování plodin určených ke konzumaci. Budoucnost E85 jako paliva vidím pouze v závodním sektoru, kde jej používá jen malé procento lidí. CNG je velmi čisté a levné palivo. Největší překážkou k jeho rozšíření je momentálně malá síť čerpacích stanic disponujících tímto palivem. Zásoba zemního plynu je asi dvojnásobná oproti zásobám ropy a je rovnoměrněji rozprostřena po světě, což má nesporné ekonomické a politické výhody. Proto si myslím, že jde o palivo s velkým potenciálem.

### 3.2 VZNĚTOVÝ MOTOR

Vznětové motory jsou konstrukčně velmi podobné motorům zážehovým. Nejvýznamnější rozdíl je ve způsobu zapálení směsi. U vznětových motorů není směs zapálena externě, ale díky tlaku ve válci se samovznítí. To je důvod, proč jsou vznětové motory hlučnější a produkují více vibrací než motory zážehové. Proto je drtivá většina vznětových motorů osazena dvouhmotovým setrvačником, který tlumí torzní kmity na klikové hřídeli. Obecně jsou vznětové motory těžší a rozměrnější, jelikož pracují s většími tlaky, a proto musí být robustnější. Vznětové motory dosahují účinnosti až 45 %. Jsou tedy účinnější než motory zážehové. [38] [39]

#### Nafta

Vznětové motory spalující naftu jsou ve velkém používány hlavně v nákladních automobilech, kamionech, dodávkách a lodích, svou cestu si našly i pod kapoty osobních automobilů, především těch větších a těžších. V současné době je ekologie vznětových motorů velmi diskutované téma i díky kauze Dieseldgate, v níž byly obcházeny emisní testy vozidel. Již několik velkých měst, jako jsou Atény, Paříž, Mexico City a Madrid oznámily, že do roku 2025 zakáží vjezd automobilům se vznětovým motorem. [40]

Nafta se vyrábí frakční destilací a dalšími úpravami ropy. Je složena především z ropných uhlovodíků o teplotě varu mezi 150 až 360 °C. Důležitou složkou motorové nafty jsou aditiva, která slouží ke zlepšení vlastností, například ke zvýšení cetanového čísla, pro lepší mazivost, pro lepší vlastnosti za studena, pro potlačení koroze a podobně. Dále je do nafty přidávána biosložka, která se vyrábí z rostlinných olejů. V závislosti na ročním období se prodává letní nebo zimní nafta. Liší se především teplotou vylučování parafinů, které mohou ucpat filtry. K nejdůležitějším vlastnostem ropy patří cetanové číslo. To určuje prodlevu mezi vstřikem paliva do válce a jeho vznícením. Ideální hodnota cetanového čísla je kolem 50. Příliš nízké cetanové číslo paliva se vyznačuje tvrdým chodem motoru, naopak příliš vysoké cetanové číslo paliva způsobuje nedokonalé hoření směsi, zapékání vstřikovacích trysek, karbonizaci motoru a nadměrnou produkci sazí. Jeden litr nafty obsahuje asi 35,3 MJ energie. [41] [42]

#### Bionafta

K výrobě bionafty se využívá olej, který je lisován z olejnin. V závislosti na klimatu jde většinou o řepku, palmy nebo sóju. Olej je esterifikován na metylester oleje, který je nazýván MĚŘO. Čisté MĚŘO je bionaftou I. generace. Je ekologicky odbouratelná, má výhřevnost 32,7 MJ/l a cetanové číslo 55. Při použití bionafty se výrazně sníží kouřivost motoru, ale nastane mírný pokles výkonu a zvýšení spotřeby paliva. Při dlouhodobém použití tohoto paliva dochází k degradaci oleje, proto je nutné snížit interval jeho výměny. Bionafta II. generace je směs MĚŘO (30–36 %) a nafty. Bionafta je běžně dostupná u čerpacích stanic. Pěstování plodin pro výrobu olejů podobně jako u ethanolu zabírá zemědělské plochy. [6] [32]

#### Ekologie

Výfukové spaliny vznětových motorů mají následovné přibližné složení: 67 % N<sub>2</sub>, 12 % CO<sub>2</sub>, 11 % H<sub>2</sub>O, 10 % O<sub>2</sub>, 0,3 % CO, NO<sub>x</sub>, HC, PČ, SO<sub>2</sub>. Oproti zážehovým motorům pracují motory vznětové s přebytkem vzduchu, proto je ve výfukových plynech významné zastoupení kyslíku. [6]

Pro co nejmenší obsah škodlivin ve výfukových plynech je důležité kvalitní promísení paliva se vzduchem, což zajistí plynulý a hladký průběh spalování. Při přebytku vzduchu, tedy chudé směsi, produkuje vznětový motor méně oxidů dusíku. Dalším faktorem ovlivňujícím vznik škodlivin je úhel předvstřiku paliva. Při pozdějším vstřiku, tedy při menším úhlu, je produkováno méně emisí  $\text{NO}_x$ , zároveň ale roste spotřeba paliva. Dalším možným způsobem redukce emisí  $\text{NO}_x$  je chlazení stlačeného vzduchu, což zároveň zvyšuje účinnost motoru. Emise nespálených uhlovodíků lze výrazně snížit konstrukcí vstřikovací soustavy, konkrétně umístěním vstřikovacích otvorů do sedla trysky. [43] [44]

U vznětových motorů je používána především vnější recirkulace výfukových plynů. Výfukové plyny jsou ochlazeny a skrze EGR ventil jsou přivedeny do sání, kde se mísí s čerstvě nasávaným vzduchem. Tento systém výrazně redukuje množství  $\text{NO}_x$ . Vzhledem k tomu, že vznětové motory pracují s přebytkem vzduchu, používá se k čištění výfukových plynů oxidační katalyzátor. Ten je schopen snižovat pouze množství škodlivin pouze oxidací, jedná se tedy o emise CO a HC. Oxidy dusíku jsou redukovány pomocí vstřikování roztoku močoviny (Ad Blue) do výfukového potrubí. Jedná se o 32,5 % roztok močoviny v demineralizované vodě. Ve výfukovém potrubí pak vzniká selektivní katalytická redukce:



Pro tuto reakci je potřeba, aby byl dostatečně zahřátý motor. [43] [44]

Vznětové motory jsou osazeny filtrem pevných částic (DPF), který je ve výfukovém potrubí umístěn za katalyzátorem. Tento filtr je schopen zachytit až 95 % pevných částic. Tyto částice jsou zachyceny ve filtru a následně spalovány na  $\text{CO}_2$ , aby nedocházelo k zanášení filtru. Správná funkce tohoto filtru je nesmírně důležitá, jelikož je popílek, který je obsažen ve výfukových plynech, člověku velmi nebezpečný. [6] [24] [45] Nyní ale vidím největší problém vznětových motorů ve stavu, ve kterém jsou provozovány. Spousta motorů má poškozený, nefunkční či odstraněný katalyzátor nebo filtr pevných částic, popřípadě prošly neprofesionální změnou softwaru, což má za následek nadměrnou produkci emisí.



Obr. 10: Filtr pevných částic [46]

### 3.2.1 ZHODNOCENÍ POUŽITÍ

Vznětové motory spalující naftu čelí v poslední době značné kritice, především kvůli kauze Dieselgate. Ukázalo se totiž, že tyto motory v reálném provozu produkují daleko větší množství škodlivin než v emisních testech. Následně upadly do nepřízně ekologů a některá velkoměsta prohlásila, že jim v budoucnu zakáží vjezd na jejich území. Proto předpokládám, že především v malých autech budou velmi brzo vyřazeny z nabídky. Ve velkých a těžkých autech, jako jsou SUV, MPV nebo limuzíny budou používány dále, ale i v tomto segmentu budou postupně nahrazeny, jelikož výrobci přestávají investovat do vývoje těchto motorů. To ovšem neznamená úplný konec vznětových motorů, jelikož Mazda potvrdila vývoj a výrobu vznětového motoru spalující benzín. Tento motor má mít velkou kompresi a slibuje výrazné snížení spotřeby a produkce emisí. [47]

## 3.3 ELEKTROMOTOR

V současné době je nejvíce nadějí vkládáno do elektrické energie. Elektromobily při jízdě neprodukují žádné emise, hluk ani vibrace. Jejich rozmach je urychlován díky dotacím, jelikož elektromobily zatím nemohou klasickým automobilům se spalovacím motorem konkurovat. Účinnost elektromotoru v elektromobilu dosahuje až 90 %, což dalece převyšuje účinnost spalovacích motorů. Musíme si ale uvědomit, že dochází ke ztrátám mezi akumulátory a elektromotorem, což snižuje účinnost elektromobilu jako celku k 70 %. K dalšímu snížení jejich účinnosti může dojít kvůli klimatickým podmínkám nebo náročnému terénu. K dalším obrovským ztrátám dochází při přenosu energie mezi elektrárnami a dobíjecími zařízeními, což dále snižuje celkovou účinnost a efektivitu tohoto pohonu. [48]

Elektromobily se osazují dvěma typy motorů: bezkartáčovými stejnosměrnými motory a třífázovými asynchronními střídavými motory. Tyto motory disponují maximem točivého momentu téměř od nulových otáček. Jsou prakticky bezúdržbové, tiché a produkují minimum vibrací. [48]

### Akumulátory

Akumulátory slouží pro uložení elektrické energie, která je následně dodávána do elektromotoru a ostatních systémů elektromobilu. Jejich nejdůležitější vlastností je (měrná) kapacita. Mezi další důležité vlastnosti patří také cena, hmotnost nebo životnost. Kapacita akumulátorů je jednou z největších překážek, která brání masivnímu rozšíření elektromobilů.

#### Olověné akumulátory

V olověných akumulátorech je jako elektrolyt použita zředěná kyselina sírová. Tyto akumulátory jsou levné. Mezi jejich nevýhody patří nízká účinnost, která dosahuje asi 70–90 %, malý počet dobíjecích cyklů (500–800) a nízká měrná kapacita (30–40 Wh/kg), proto se v elektromobilech téměř nepoužívají. [49]

#### Alkalické akumulátory

Alkalické akumulátory jako elektrolyt využívají roztok hydroxidu alkalických kovů. Mezi nejpoužívanější alkalické akumulátory patří nikl-kadmiové (Ni-Cd), nikl-metal hydridové (Ni-MH), lithium-iontové (Li-Ion) a lithium-železo-fosfátové (LiFePO<sub>4</sub>).

Nikl-kadmiové akumulátory jsou odolné vůči hlubokému vybití. Tyto akumulátory jsou schopny více než 2000 dobíjecích cyklů. Mají nízkou účinnost, která se pohybuje mezi 66–90 %, nízkou měrnou kapacitu (40–60 Wh/kg) a relativně rychlé samovybití, až 20 % kapacity za měsíc. Kadmium, jedna ze složek akumulátoru, je velmi toxické. [50]

Nikl-metal hydridové akumulátory jsou ekonomicky dostupné, schopné udržet napětí až do úplného vybití. Jejich měrná kapacita činí 30–80 Wh/kg. Nevýhody jsou nízká účinnost, samovybití a nižší počet dobíjecích cyklů (kolem 1000). [51]

Lithium-iontové akumulátory mají velmi vysokou měrnou kapacitu, až 160 Wh/kg, pomalé samovybití a vysokou účinnost, která se pohybuje mezi 80–90 %. Mezi nevýhody patří samovolné snižování kapacity. Při přehřátí nebo špatném používání může explodovat. [52]

Lithium-železo-fosfátové akumulátory se vyznačují vysokým počtem dobíjecích cyklů (2000–3000), vysokou bezpečností a životností, účinností dosahující až 95 %, měrnou kapacitou přesahující 120 Wh/kg a tepelnou stabilitou. Mezi nevýhody patří snižování kapacity při rychlonabíjení a možnost poškození při častém hlubokém vybití. Nyní se v elektromobilech nejčastěji používají Li-Ion a LiFePo<sub>4</sub> akumulátory. [53]

### **Infrastruktura**

Velkým problémem elektromobility je nedostatečný počet dobíjecích stanic a dlouhá doba nabíjení. To v kombinaci s nízkým dojezdem elektromobilu snižuje jejich konkurenceschopnost oproti klasickým automobilům, které mají daleko větší dojezd, širokou síť čerpacích stanic a rychlé tankování paliva.

Rozlišujeme interní a externí nabíječky. Interní nabíječky využívají k dobití elektromobilu klasické zásuvky. Nabíjení trvá déle, odvíjí se od výkonu nabíječky a proudu. Toto řešení je ideální pro řidiče, kteří najedou denně méně kilometrů, než je dojezd elektromobilu. V takovém případě lze elektromobil bez problémů nabít přes noc. Doba nabíjení domácích nabíječek je asi 5 až 8 hodin, v závislosti na kapacitě akumulátorů. Externí nabíječky jsou veřejně přístupné. Nabíjení elektromobilu trvá podstatně kratší dobu, jelikož je k nabíjení použit větší proud. Některé z nich jsou zdarma. K rozšíření elektromobility by bylo ideální, kdyby byly tyto stanice rozmístěny například u obchodních domů, parkovišť, restaurací, úřadů a firem. [54]













Obr. 13: Dobíjecí stanice [55]

### Typy konektorů

I přes snahu výrobců sjednotit konektory nabíječek elektromobilů jich existuje několik druhů. Z toho vyplývá, že ne každý elektromobil lze dobít na jakékoli dobíjecí stanici.

	Type 1 / USA	Type 2 / Europe	GB / China
AC	 SAE J1772 / IEC 62196-2	 IEC 62196-2	 GB part 2
DC	 IEC 62196-3	 IEC 62196-3	 GB part 3 / IEC 62196-3
Combined AC/DC Charging System	 SAE J1772 / IEC 62196-3	 IEC 62196-3	

Obr. 14: Typy konektorů [54]

## Ekologie

Elektromobily při jízdě neprodukují téměř žádné emise. Díky tomu převládá názor, že jsou elektromobily ekologické. Musíme ale vzít v úvahu i takzvané nepřímé emise. Ty vznikají především při výrobě elektrické energie, která elektromobily pohání a při výrobě akumulátorů.

Tabulka 4: Produkce emisí CO<sub>2</sub> při výrobě kWh elektřiny [56]

Technologie	CO <sub>2</sub> /kWh
Hnědé uhlí	1054
Černé uhlí	888
Ropa	733
Zemní plyn	499
Solární	85
Biomasa	45
Jaderná	29
Vodní	26
Větrná	26

Reálná spotřeba běžného elektromobilu se pohybuje kolem 18 kWh/100 km. [57] To znamená, že emise CO<sub>2</sub> činí v závislosti na technologii výroby energie (při zanedbání všech ztrát) 5–190 g/km. Velmi tedy závisí na energetickém mixu dané země. Výroba akumulátorů je dalším nezanedbatelným zdrojem emisí CO<sub>2</sub>. Na výrobu 24 kWh akumulátorů se vyprodukuje asi 3,4 tuny CO<sub>2</sub>. [58] Dále musíme vzít v úvahu, že životnost akumulátorů je omezená. Většinu materiálu však může být recyklována.

Při výrobě elektrického Fordu Focus se vyprodukuje o 2,8 tuny CO<sub>2</sub> více než při výrobě verze se spalovacím motorem. [58] Nespornou výhodou je přemístění produkce emisí mimo obydlené zóny, což značně zlepšuje kvalitu ovzduší ve městech. Z globálního hlediska to ale není řešení problému.

Stát	ČR	Německo	Francie	Norsko	EU	USA	Kalifornie	Kanada	Čína	Japonsko
<b>Automobil</b>										
Klasické automobily										
Škoda Octavia 1.6 TDI						134,2				
Škoda Octavia 1.2 TSI						142,6				
Škoda Octavia G-TEC 1.4 TS						101,8				
Audi A3						137,9				
Porsche Panamera GTS						299,3				
Porsche 911 Carrera 4S						275,9				
	ČR	Německo	Francie	Norsko	EU	USA	Kalifornie	Kanada	Čína	Japonsko
<b>Elektromobily</b>										2010 2013
Nissan Leaf	101,4	102,0	17,7	7,2	85,4	106,9	68,4	40,1	157,3	91,1 123,3
BMW i3	69,7	70,1	12,2	4,9	58,7	73,5	47,0	27,6	108,2	62,6 84,7
Tesla Model S	116,6	117,3	20,4	8,3	98,2	123,0	78,6	46,1	180,9	104,7 141,8
<b>Plug-in Hybridy</b>										
Toyota Prius Plug-in Hybrid	99,2	99,5	54,6	49,0	90,6	102,1	81,6	66,5	128,9	93,7 110,8
BMW i8	114,2	114,6	61,6	54,9	104,1	117,7	93,4	75,7	149,4	107,7 128,0

Obr. 15: Emise vybraných vozidel – skutečná spotřeba [g CO<sub>2</sub>/km] [59]



### 3.3.1 ZHODNOCENÍ POUŽITÍ

Elektřina je v současnosti nejvíce preferovaným alternativním palivem. Téměř všechny automobilky pracují na elektrickém pohonu, jsou do něj vkládány velké naděje a je ve velkém dotován. Mezi nesporné výhody elektrické energie jako paliva je její obnovitelnost a relativní čistota. Motory neprodukují téměř žádný hluk, vibrace ani emise a jsou bezúdržbové. Mezi největší překážky rozšíření tohoto pohonu patří krátký dojezd elektromobilů, dlouhá doba nabíjení a omezená infrastruktura. Po překonání těchto překážek nebude již rozmachu elektromobility nic bránit.

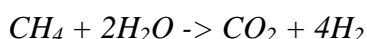
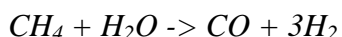
Zajímavým řešením těchto problémů je indukční nabíjení elektromobilů. Jedná se o bezdrátovou technologii; automobil stačí zaparkovat nad indukční desku a začne se automaticky nabíjet. V současné době jsou testovány části silnic, které jsou schopny dobíjet elektromobily. Toto řešení by bylo výhodné použít především ve městech, například při čekání na semaforech nebo v dopravních zácpách. [60]

## 3.4 VODÍKOVÝ POHON

Vodík může být přímo spalován v motoru, nebo může být použit jako zdroj elektrické energie v palivových článcích. Účinnost použití vodíku v palivových článcích je oproti jeho spalování asi dvojnásobná. [6] Vodík je jeden z nejrozšířenějších prvků na Zemi, ale nevyskytuje se v čisté formě, a proto se musí být uměle vyráběn.

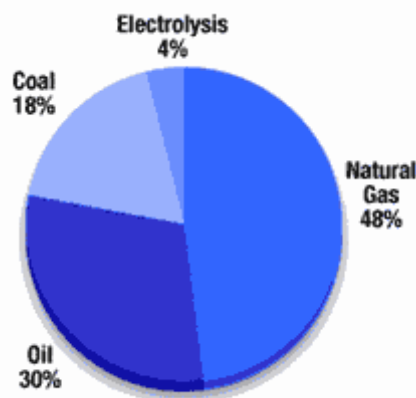
### Výroba

Nejrozšířenějším způsobem výroby vodíku je v současné době parní reformování zemního plynu. To se provádí v pecích při teplotách mezi 750–800 °C a tlaku 3–5 MPa. Metan v trubkách reaguje s vodní párou při vzniku vodíku, oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého.



[61]

Elektrolýza vody rozkládá vodu na vodík a kyslík. Je používán stejnosměrný proud o napětí 1,85 – 2,05 V za teploty 25 °C. Elektrolýzou lze vyrobit velice čistý vodík. Celková účinnost elektrolýzy činí asi 30 %. Elektrolýzou je vyráběno jen asi 4 % vodíku. Výhodou je obnovitelnost zdroje. Drtivá většina vodíku je však vyráběna z fosilních paliv. Jedná se především o zemní plyn, ropu a uhlí. [61]



Obr. 16: Technologie výroby vodíku [61]

### Skladování

Vodík může být skladován v plynném nebo kapalném stavu. Pro stlačení vodíku na požadovaný tlak se musí vynaložit ekvivalent asi 30 % energie, která je ve vodíku uložena, a pro jeho zkapalnění se musí vynaložit ekvivalent asi 40 % jeho energie. V plynném stavu je vodík uchováván v tlakových nádobách o tlaku až 1000 bar. V kapalném stavu je uchováván při teplotě  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kvůli odpařování jsou ztráty asi 3 % obsahu denně. [62]

#### 3.4.1 ZHODNOCENÍ POUŽITÍ

Vodík jako palivo je velmi čistý, emise jsou oproti benzínovému motoru až o 99 % nižší. [61] Navíc jsou jeho zásoby obrovské. Proto má vodík jako palivo potenciál, a to především jako zdroj elektrické energie v palivových článcích. Výroba vodíku je energeticky velmi náročný proces, stejně jako jeho stlačování, zkapalňování a skladování. Většina množství vodíku se vyrábí z fosilních paliv, což je neobnovitelný zdroj energie. Za předpokladu nalezení energeticky a ekonomicky výhodného způsobu výroby a skladování vodíku je jeho rozšíření jako palivo pravděpodobné.

### 3.5 HYBRIDNÍ POHON

Hybridní ústrojí znamená použití dvou nebo více pohonů, ze kterých využívá jejich výhody a eliminuje jejich nevýhody. Nejčastěji používaným hybridním pohonem je kombinace zážehového motoru a elektromotoru.

Hybridní pohon je považován za mezikrok k elektrifikaci dopravy. Využívá předností spalovacích i elektrických motorů – ve městě neprodukuje elektrický motor žádné emise, je účinnější, než spalovací motor a neprodukuje hluk. Spalovací motor naopak zvyšuje dojezd soustavy a má možnost rychlého doplnění paliva. Elektromotor může fungovat jako generátor, to znamená, že přebytečná kinetická energie se přeměňuje zpět na energii elektrickou. Tento proces se nazývá rekuperace energie a výrazně zvyšuje účinnost celé soustavy. Mezi nevýhody patří vyšší hmotnost automobilu, vyšší výrobní náklady a menší vnitřní prostor. Hybridní automobily se dělí na paralelní a sériové. [32]

Sériový hybrid je elektromobil, který se doplněn spalovacím motorem, který slouží jako generátor a vyrábí elektrickou energii. Ta je dodávána přímo do elektromotoru, nebo je ukládána do akumulátorů. Paralelní hybrid využívá jako pohon elektromotor, spalovací motor, nebo oba zároveň. Řídící jednotka automobilu vyhodnotí nejvýhodnější variantu pohonu a tím maximalizuje účinnost soustavy. Paralelní hybridní pohon je nejrozšířenějším hybridním pohonem. [63] [64]

### Druhy hybridních technologií

Podle způsobu využití spalovacího a elektrického motoru jsou hybridní automobily děleny do následujících kategorií:

Micro-hybrid je automobil vybavený pokročilým systémem start-stop. Tento systém vypne motor automobilu v nízké rychlosti ještě před jeho zastavením.

Mild-hybrid je automobil, který je vybaven spalovacím motorem a malým elektromotorem. Ten vypomáhá spalovacímu motoru především při rozjezdech a prudké akceleraci. Při deceleraci funguje jako generátor a dobíjí baterie. Automobil není schopen provozu pouze na elektrický pohon.

Full-hybrid je automobil, který je schopen pohybu díky spalovacímu, nebo elektrickému motoru, v závislosti na situaci.

Plug-in hybrid je full-hybrid s rozdílem, že jej lze dobít ze sítě.

Range extender disponuje elektromotorem i spalovacím motorem. K pohonu je využíván pouze elektrický motor. Spalovací motor funguje jako generátor sloužící k dobíjení akumulátorů. [63] [64] [65]



*Obr. 17: Toyota Prius [66]*

## Ekologie

Hybridní automobily při provozu produkují méně emisí než automobily se spalovacím motorem. Díky tomu napomáhají ke zlepšení ovzduší především ve městech. Na druhou stranu je jejich výroba náročnější, než výroba automobilu pouze se spalovacím motorem. Nevýhodou je vyšší spotřeba a emise při provozu na spalovací motor z důvodu vyšší hmotnosti automobilu.

### 3.5.1 ZHODNOCENÍ POUŽITÍ

Současný vývoj signalizuje rozmach hybridního pohonu automobilů. Jedná se o mezistupeň přechodu mezi spalovacími a elektrickými motory. Jejich důležitost bude nadále stoupat. Po vyřešení největších překážek elektromobility, tedy kapacitě akumulátorů a s ní spjatým dojezdem, rychlosti dobíjení a infrastruktury, bude jejich rozšířenost klesat na úkor elektromobilů.

## ZÁVĚR

Omezené zásoby ropy a tlak vlád na snižování emisí při provozu automobilů nutí výrobce vyvíjet pohony na alternativní paliva. Celý tento proces byl uspíšen kauzou Dieseldgate, při které bylo zjištěno, že vznětové motory v reálném provozu produkují několikanásobné množství emisí, než v testovacím cyklu. To iniciovalo změnu způsobu měření škodlivin, která má přinést reálnější výsledky. Některá paliva mohou být použita po mírných úpravách ve spalovacích motorech, pro jiná jsou vyvíjeny motory nové. Emisní předpisy ovšem zahrnují pouze emise produkované při provozu vozidla a na produkci emisí při výrobě či zpracování vůbec nemyslí. Současný vývoj jasně signalizuje ústup vznětových motorů spalujících naftu. Některá velká města se zavázala zakázat vjezd automobilů se vznětovým motorem a automobilky přestávají investovat do vývoje těchto motorů. Zážehové motory spalující benzín budou nadále velmi důležitým pohonem osobních automobilů, postupně budou spojovány s elektromotory do hybridních pohonů. Po překonání překážek bránících rozvoji elektromobilismu, tedy omezené kapacity akumulátorů, pomalým dobíjením, nízkým počtem dobíjecích stanic a ekonomické náročnosti výroby těchto vozidel nastane rozvoj elektromobilů. Velký potenciál má i CNG, které při spalování produkuje velmi málo emisí. Oproti ropě jsou zásoby zemního plynu asi dvojnásobné. Velkým problémem je nízký počet čerpacích stanic disponujících tímto palivem.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] STONE, Richard. *Introduction to internal combustion engines*. 2nd ed. Basingstoke, England: Macmillan, 1992. ISBN 03-335-5083-8.
- [2] The history of the combustion engine. *Car Bibles* [online]. Car Bibles, 2017 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.carbibles.com/enginehistory.html>
- [3] Internal Combustion Engine Basics: The History and Development of IC Engines (Huygens Gunpowder Engine). *Bright Hub Engineering* [online]. Troy: Bright Hub Inc., c2012-2016 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.brighthubengineering.com/machine-design/8251-history-and-development-of-huygens-gunpowder-engine/>
- [4] Model Newcomen Steam Engine. *The Hunterian* [online]. Glasgow: University of Glasgow, b.r. [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.gla.ac.uk/hunterian/collections/collectionsummaries/scientificinstruments/modelnewcomensteamengine/>
- [5] Industrial History: The History of the Steam Engine. *ThomasNet* [online]. New York: Thomas Publishing Company, 2017 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/steam-engine-history>
- [6] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [7] J. ALFRED EWING., . *The steam-engine and other heat-engines*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. ISBN 978-110-7615-632.
- [8] [online]. b.r. [cit. 2017-02-22]. DOI: cph 3c10411.
- [9] Emisní norma EURO. *Autolexicon* [online]. Sajdl, 2017 [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>
- [10] Testování emisí v EU čekají velké změny. *EurActiv* [online]. Praha: EU-Media, 2016 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://euractiv.cz/clanky/klima-a-zivotni-prostredi/testovani-emisi-v-eu-cekaji-velke-zmeny/>
- [11] The different driving cycles. *Car engineer* [online]. Romain Nicolas, 2013 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>
- [12] The different driving cycles. In: *Car Engineer* [online]. Romain Nicolas, 2013 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.car-engineer.com/wp-content/uploads/2012/12/NEDC.png?x53636>

- [13] Normované měření spotřeby dnes a zítra: *Ztratí start/stop smysl?*. Autorevue [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2015 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/normovane-mereni-spotreby-dnes-azitra-ztrati-start/stop-smysl/ch-54835#articleStart>
- [14] The different driving cycles. In: Car Engineer [online]. Romain Nicolas, 2013 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.car-engineer.com/wp-content/uploads/2012/12/WLTC-class3.png?x53636>
- [15] Downsizing motoru. Autolexicon [online]. Sajdl, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/downsizing-motoru/>
- [16] Skoda Adds 1.0-Liter TSI 3-Cylinder Engine To Octavia Range. In: Carscoops [online]. Tudose, 2016 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.carscoops.com/2016/05/skoda-adds-10-liter-tsi-3-cylinder.html>
- [17] 10 klíčových koncepcí motorů: jaké mají výhody a nevýhody?. Autoforum [online]. Praha: MotorCom, 2015 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/10-klicovych-koncepci-motoru-jake-maji-vyhody-a-nevyhody>
- [18] Těžba ropy. Petroleum [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/ropa/tezba-ropy.aspx>
- [19] Těžba ropy. Ropa [online]. 2016 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.ropa.cz/tezba-ropy/>
- [20] BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. Základy zpracování a využití ropy. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0619-2.
- [21] Kozlíkové hlubinné čerpadlo. In: Petroleum [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: [http://www.petroleum.cz/ropa/system/tezba\\_ropy\\_5.jpg](http://www.petroleum.cz/ropa/system/tezba_ropy_5.jpg)
- [22] Oktanové číslo. Autolexicon [online]. Sajdl, 2017 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/oktanove-cislo/>
- [23] Emise výfukových plynů. Autolexicon [online]. Sajdl, 2017 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emise-vyfukovych-plynu/>
- [24] Katalyzátor. Autolexicon [online]. Sajdl, 2017 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/katalyzator/>
- [25] Katalyzátor. In: Autolexicon [online]. Sajdl, 2017 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: [http://www.autolexicon.net/obr\\_clanky/cs\\_katalyzator\\_006.jpg](http://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_katalyzator_006.jpg)
- [26] FFV (Flexible Fuel Vehicle). Autolexicon [online]. Sajdl, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/ffv-flexible-fuel-vehicle/>

- [27] E85 Fuel Explained - Should you use it?. In: Youtube [online]. Sydney: Joscelyne, Mulholland, 2015 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ltWcgiCm4NY&t>
- [28] Bioetanol. Autolexicon [online]. Sajdl, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/bioetanol/>
- [29] Palivo E85: Šetření na správném místě? Na zimu se nehodí a *pozor* na ventily!. Auto [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/palivo-e85-setreni-na-spravnem-miste-na-zimu-se-nehodi-a-pozor-na-ventily-103995>
- [30] Brazilian Transportation Fleet. SugarCane [online]. São Paulo: UNICA, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://sugarcane.org/the-brazilian-experience/brazilian-transportation-fleet>
- [31] Zhodnocení ekologického potenciálu paliva E85. Biom [online]. Praha: Miler, 2011 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz-kapalna-biopaliva/odborne-clanky/zhodnoceni-ekologickeho-potencialu-paliva-e85>
- [32] Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [33] *How Clean Are LPG Engines?*. NETT Technologies [online]. Toronto: Nett Technologies, 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <https://www.nettinc.com/information/emissions-faq/how-clean-are-lpg-engines>
- [34] Jak se v nové hale vyrábějí octavie na CNG. In: Novinky [online]. Plavecký, 2014 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://media.novinky.cz/316/433169-original1-iwgst.jpg>
- [35] CNG (Compressed Natural Gas). Autolexicon [online]. Sajdl, 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/cng-compressed-natural-gas/>
- [36] Mapa CNG stanic v ČR. CNGplus [online]. 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.cngplus.cz/cerpaci-a-plnici-stanice.html>
- [37] Potenciál redukce emisí při využití zemního *plynu* v dopravě. In: Cng.cz [online]. b.r. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/img/graf.JPG>
- [38] Jak funguje diesel? Proč je *hlučný*, těžký a proč efektivní?. Autoforum [online]. Praha: MotorCom, 2015 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/jak-funguje-diesel-proc-je-hlucny-tezky-a-proc-efektivni/>
- [39] Technika: Dvuhmotový setrvačnick. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2015 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/technika-dvuhmotovy-setrvacnik-87264>



- [40] Konec dieselů do roku 2025: Čtyři světové metropole jim zakážou vjezd. *Auto.cz* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2016 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/konec-dieselu-roku-2025-ctyri-svetove-metropole-jim-zakazou-vjezd-100969>
- [41] Motorová nafta. *Petroleum* [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/nafta.aspx>
- [42] Aditivace motorové nafty. *Petroleum* [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/nafta-aditivace.aspx>
- [43] AdBlue. *Autolexicon* [online]. Sajdl, 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/adblue/>
- [44] SCR (Selective *Catalytic* Reduction). *Autolexicon* [online]. Sajdl, 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/scr-selective-catalytic-reduction/>
- [45] DPF (Diesel *Particulate* Filter). *Autolexicon* [online]. Sajdl, 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/dpf-diesel-particulate-filter/>
- [46] Diesel Particulate Filter. In: *Motorex* [online]. MotorActive, 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: [http://www.motoractive.com.au/files/blog/wordpress/wp-content/uploads/2013/12/diesel\\_particulate\\_filter\\_dpf.jpg](http://www.motoractive.com.au/files/blog/wordpress/wp-content/uploads/2013/12/diesel_particulate_filter_dpf.jpg)
- [47] Mazda bude mít už příští rok benzinový motor na principu vznětového. *Autorevue* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2017 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/mazda-bude-mit-uz-pristi-rok-benzinovy-motor-na-principu-vznetoveho>
- [48] The Difference Between Car Engines. *MachineDesign* [online]. Overland Park: Penton, 2016 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.machinedesign.com/motorsdrives/difference-between-car-engines>
- [49] Olověné baterie. *Elektromobily* [online]. 2010 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/oloveny-akumulator>
- [50] NiCd akumulátor. *Elektromobily* [online]. 2010 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/nicd-akumulatory>
- [51] NiMH akumulátory. *Elektromobily* [online]. 2010 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/nimh-akumulatory>
- [52] Li-Ion baterie. *Elektromobily* [online]. 2010 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/li-ion-akumulatory>
- [53] LiFePO4 akumulátory. *Elektromobily* [online]. 2010 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z:

<http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/lifepo4-akumulatory>

- [54] Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. Jak nenaletět. Hybrid.cz [online]. Chamanne, 2014 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stanice-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-nenaletet>
- [55] Freedom station. In: Businesswire [online]. San Francisco: Business Wire, 2014 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: [http://mms.businesswire.com/media/20140204006309/en/401842/5/Freedom\\_Station\\_1.jpg?download=1](http://mms.businesswire.com/media/20140204006309/en/401842/5/Freedom_Station_1.jpg?download=1)
- [56] Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources. In: World Nuclear Association [online]. London: World Nuclear Association, 2016 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://www.world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working\\_Group\\_Reports/comparison\\_of\\_lifecycle.pdf](http://www.world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/comparison_of_lifecycle.pdf)
- [57] POČÍTÁME: je z hlediska emisí výhodnější spalovací auto nebo elektromobil?. Hybrid.cz [online]. Chamanne, 2016 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/pocitame-je-z-hlediska-emisi-vyhodnejsi-spalovaci-auto-nebo-elektromobil>
- [58] Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery: A Comparative Analysis. ACS Publications [online]. Washington: American Chemical Society, 2016 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.6b00830>
- [59] BOCHNÍČEK, Ondřej. Skutečná energetická náročnost *PLUG-IN hybridů* a elektromobilů v závislosti na místě provozu vozidla. Brno, 2015. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce JAN FIŠER.
- [60] Švédové připravují elektrické silnice. Hybrid.cz [online]. Chamanne, 2014 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/svedove-pripravuji-elektricke-silnice>
- [61] Jak se vyrábí palivo budoucnosti. *Vodík pro auta* i elektroniku. IDnes [online]. Praha: MAFRA, 2008 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-/tec\\_technika.aspx?c=A080127\\_234744\\_tec\\_technika\\_vse](http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-/tec_technika.aspx?c=A080127_234744_tec_technika_vse)
- [62] Skladování vodíku I. Česká vodíková *technologická platform* [online]. Husinec: Česká vodíková technologická platforma, 2007 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/transport-a-skladovani-vodiku/618-skladovani-vodiku-i>
- [63] Mikrohybrid, plug-in nebo asistovaný? Uděláme vám v autech jasno!. Hybrid.cz [online]. Chamanne, 2011 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/mikrohybrid-plug-nebo-asistovany-udelame-vam-v-autech-jasno>

- [64] Hybridní systémy pro pohon automobilů. *OEnergetice [online]*. ČTK, 2015 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/elektromobilita/hybridni-systemy-pro-pohon-automobilu/>
- [65] Extended-range electric vehicles (E-REV). *Go Ultra Low [online]*. London: The Society of Motor Manufacturers and Traders Limited, 2017 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.goultralow.com/more-about-electric-cars/types-of-vehicles/range-extended/>
- [66] 2017 Toyota Prius Prime Hatchback. *In: Toyota Carlsbad [online]*. Carlsbad, 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: [https://images.dealer.com/ddc/vehicles/2017/Toyota/Prius%20Prime/Hatchback/color/Blizzard%20Pearl-070-222,222,210-640-en\\_US.jpg](https://images.dealer.com/ddc/vehicles/2017/Toyota/Prius%20Prime/Hatchback/color/Blizzard%20Pearl-070-222,222,210-640-en_US.jpg)

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

<i>CNG</i>	Stlačený zemní plyn
<i>CO</i>	Oxid uhelnatý
<i>CO<sub>2</sub></i>	Oxid uhličitý
<i>DPF</i>	Diesel particulate filter (Filtr pevných částic)
<i>E85</i>	Směs 85 % ethanolu a 15 % benzínu
<i>EGR</i>	Exhaust gas recirculation (Recyklace výfukových plynů)
<i>FFV</i>	Flexi fuel vehicle (Vozidlo schopné spalovat benzín i E85)
<i>H<sub>2</sub></i>	Vodík
<i>H<sub>2</sub>O</i>	Voda (vodní pára)
<i>HC</i>	Nespálené uhlovodíky
<i>LiFePo<sub>4</sub></i>	Lithium-železo-fosfátové (akumulátory)
<i>Li-Ion</i>	Lithium-iontové (akumulátory)
<i>LNG</i>	Zkapalněný zemní plyn
<i>LPG</i>	Zkapalněný ropný plyn
<i>MĚŘO</i>	Bionafta I. generace
<i>MPV</i>	Multi-purpose vehicle (Víceúčelové vozidlo)
<i>N<sub>2</sub></i>	Dusík
<i>NEDC</i>	New european driving cycle (Nový evropský jízdní cyklus)
<i>NH<sub>3</sub></i>	Amoniak
<i>Ni-Cd</i>	Nikl-kadmiové (akumulátory)
<i>Ni-MH</i>	Nikl-metal hydridové (akumulátory)
<i>NO</i>	Oxid dusnatý
<i>NO<sub>x</sub></i>	Oxidy dusíku
<i>PČ</i>	Pevné částice
<i>RDE</i>	Real driving emissions (Emise v reálném provozu)

<i>SO<sub>2</sub></i>	Oxid siřičitý
<i>SUV</i>	Sport utility vehicle (Sportovní užitkové vozidlo)
<i>TSI</i>	Turbocharged Stratified Injection (Přepřňovaný motor s přímým vstřikem paliva)
<i>WLTC</i>	Worldwide Harmonized Light vehicle Test Cycle (Sjednocený harmonizovaný testovací cyklus pro lehká vozidla)